ChinaXiv合作期刊

第 37 卷第 4 期　　生　态　学　报　　Vol.37，No.4
2017 年 2 月　　ACTA ECOLOGICA SINICA　　Feb.，2017

DOI：10.5846/stxb201604180723
周伟,王文杰,张波,肖路,吕海亮,何兴元.长春城市森林绿地土壤肥力评价.生态学报,2017,37(4):1211-1220.
Zhou W, Wang W J, Zhang B, Xiao L, Lü H L, He X Y.Soil fertility evaluation for urban forests and green spaces in Changchun City.Acta Ecologica Sinica,2017,37(4):1211-1220.

长春城市森林绿地土壤肥力评价

周　伟[1,2],王文杰[1,2,*],张　波[1],肖　路[1],吕海亮[2],何兴元[2]
1 东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室, 哈尔滨　150040
2 城市森林与湿地学科组,中国科学院湿地与环境重点实验室,中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春　130102

摘要:以长春城市森林绿地为研究对象,测定 9 种土壤指标并参照全国第二次土壤普查分级标准对长春城市森林绿地土壤整体特征进行评级,采用内梅罗指数法分析长春城市森林绿地不同林型、行政区、环路土壤肥力,结合 ArcGIS 分析长春城市森林绿地土壤养分空间分布特征,以期对长春城市森林建设提供依据和建议。对比全国第二次土壤普查所确定的分类等级(6 等级),土壤有机质平均含量(34.51 g/kg)及其空间分布(大部分区域>30 g/kg)达到了 2 级、含量高的水平;全氮(均值 1.37 g/kg)、碱解氮(均值 133.04 mg/kg)、速效磷(均值 38.47 mg/kg)及其空间分布均达到了 3 级以上水平;全钾(均值 58.7 g/kg)和速效钾(均值 255.85 mg/kg)及其空间分布达到 1 级、含量很高的水平;全磷平均含量 0.51 g/kg,空间上大部分区域集中在 0.4—0.6 g/kg,为 4 级、含量中下水平。土壤 pH 为 5.43—8.89,容重为 1.11—1.62 g/cm³。内梅罗综合肥力指数分析表明长春城市多数区域处于 1.5—1.8 之间,处于中等水平(4 级制中排第 3 级)。不同林型间差异主要表现在 pH、全氮、全磷和碱解氮($P<0.05$),不同环路间差异主要在 pH、有机质和全磷($P<0.05$),而不同行政区间差异指标最多,为有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷和 pH($P<0.05$)。综合肥力指数显示:景观林>单位附属林=农田防护林>道路林,绿园区>朝阳区>南关区>二道区>宽城区,1 环>3=4 环>2 环>4 环外。根据以上结果,可采取疏松土壤、枯枝落叶沤肥、增施氮磷有机肥而控制钾肥、种植固氮耐低磷植物等措施推进长春城市森林建设,提升城市植被生态服务功能。

关键词:土壤有机质;土壤氮磷钾;土壤理化性质;综合肥力指数及等级评价;空间分布图;城市森林类型

Soil fertility evaluation for urban forests and green spaces in Changchun City

ZHOU Wei[1,2], WANG Wenjie[1,2,*], ZHANG Bo[1], XIAO Lu[1], LÜ Hailiang[2], HE Xingyuan[2]
1 *Key Laboratory of Forest Plant Ecology of Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin* 150040, *China*
2 *Urban forest and wetland group, Key Laboratory of Wetland Ecology and Environment, Northeast Institute of geography and agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun* 130102, *China*

Abstract: The fertility of urban soil is an important factor for urban forestry and urban greening. There has been no comprehensive evaluation of soil fertility at the city scale upon which to base greening practices in Changchun City. In this study, 197 soil samples from the 0—20 cm layer were collected to determine soil organic matter (SOM), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), total potassium (TK), available nitrogen (AN), available phosphorus (AP), available potassium (AK), pH, and soil bulk density. Variables analyzed with respect to differences in soil fertility were forest types (roadside forest [RF], affiliated forest [AF], landscape forest [LF], and farmland shelterbelt forest [FF]), districts (Chaoyang, Lvyuan, Nanguan, Kuancheng, and Erdao districts), and ring roads (1—4 ring roads and outside 4-ring roads). Classification criteria for soil nutrients in the 2nd National Soil Survey (6-grade evaluation) and a modified Nemorow formula were used to compare soil fertility. Moreover, kriging interpolation was used to map the spatial distribution

基金项目:中国科学院重点部署资助项目(KFZD-SW-302-04);中国科学院百人计划资助项目(Y3H1051001);黑龙江省杰出青年资助项目(JC201401);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2572014EA01);国家自然科学基金(31670699)

收稿日期:2016-04-18;　　**修订日期**:2016-07-25

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: wjwang225@hotmail.com

chinaXiv:201703.00055v1

ChinaXiv合作期刊

of soil nutrients and fertility using ArcGIS software. With reference to the 6-grade criteria from the 2nd National Soil Survey, SOM in Changchun was graded as no. 2 (high level) with an average of 34.51 g/kg and most regions had >30 g/kg. TN, AN, and AP were graded no. 3 or higher, with an average of 1.37 g/kg, 133.04 mg/kg and 38.47 mg/kg, respectively. The spatial map revealed that most urban regions had TN 1—1.5 g/kg, AN 90—150 mg/kg and AP 20—40 mg/kg. TK and AK were graded the highest (grade no. 1) averaging 58.7 g/kg and 255.85 mg/kg, respectively, and most regions had 50—60 g/kg and 200—300 mg/kg, respectively, based on the ArcGIS map analysis. TP reached the mid-low level (no. 4 grade), averaging 0.51 g/kg and most regions on the spatial map had 0.4—0.6 g/kg. The pH of the urban forest soil ranged from 5.43 to 8.89, and soil bulk density was in the range of 1.11—1.62 g/cm^3. Spatial distribution of the Nemorow comprehensive soil fertility index (F) revealed that most urban regions were within the 1.5—1.8 range, indicating medium soil fertility overall for Changchun City (grade no. 3 in the 4-grade system). In addition, forest type-related differences were mainly found in pH, TN, TP, and TK ($P< 0.05$), and ring road-related urban-rural gradient differences occurred in pH, SOM, and TP ($P < 0.05$), whereas administrative district-related differences were found in all studied parameters, except soil bulk density, TK, and AK ($P < 0.05$). F differences in different forest types followed the sequence LF > AF = FF > RF. In different administrative districts, the sequence was Lvyuan > Chaoyang > Nanguan > Erdao > Kuancheng, whereas for ring road-related F differences it was 1-ring > 3-ring = 4-ring > 2-ring > outside 4-ring. Based on these results, some measures to improve the urban soil of Changchun were proposed, such as loosening soil, reducing soil alkalinity, litter compost cycling on-site, N-P fertilizer addition without the addition of K, and N-fixing using trees with low P demand to maintain suitable soil fertility. These soil diagnosis-oriented measures could promote better development of urban forests and green spaces, and our data provided an example of urban soil fertility evaluation for improving soil-based urban vegetation ecological services for resident life.

Key Words: soil organic matter; soil N, P and K; soil physiochemical properties; soil comprehensive fertility index and grading evaluation; spatial distribution map; urban forest types

城市森林具有美化城市、净化空气、防尘减噪、保持水土、涵养水源、调节城市生态平衡等重要作用[1]。城市森林绿地土壤是城市森林生长的物质基础,提升城市绿化水平的重要介质,保护城市环境的重要生态屏障,城市土壤的好坏直接关系到城市森林绿地建设的质量及其生态服务功能的提供[2]。城市土壤肥力综合评价是判断城市土壤质量的有效手段,土壤肥力是土壤的基本属性和本质特征,是土壤物理、化学和生物等特性的综合反映,其中土壤物理性质、土壤酸碱度、土壤有机质、氮磷钾及其有效态是其重要表现方面[3]。参照全国第二次土壤普查分级标准,可以将城市土壤分为不同等级,从而可以直观分析城市土壤养分概况[4]。内梅罗指数法可对农田、草地、城市绿地等进行土壤肥力质量综合评价[5]。将传统统计方法与 GIS 技术相结合可以研究土壤养分的空间分布特征[6-8]。不同城市森林类型、行政区及环路带具有不同的生态功能,综合不同土壤理化指标构建评价方法并结合空间图示技术,能够更好的反映城市森林绿地的土壤质量差异,将有助于城市绿化造林的实践。

长春市是我国东北重要城市,也是重要的园林城市,森林覆盖率达到 30%以上。以往研究更多的注重美观、绿量及生态服务功能,如冷岛效应等的研究,在城市森林绿地肥力评价及空间分布方面的研究还较少。通过全国第二次土壤普查分级标准及内梅罗指数法并结合 ArcGIS 分析长春城市森林绿地土壤肥力变化,可以科学判断城市绿化现状,从而有针对性的为城市森林建设提供建议。具体回答如下 3 个问题:1)长春市城市森林绿地土壤养分概况及空间分布有何特征,评级有多高? 2)不同行政区域、环路梯度和林型间土壤肥力差异有多大,其主要限制因子是哪些? 3)上述发现对城市造林绿化管理有何建议?

chinaXiv:201703.00055v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201703.00055v1

1　材料与方法

1.1　研究区概况

长春市位于 43°05′—45°15′N,124°18′—127°05′E,市区海拔在 250—350 m 之间,地势平坦开阔。属北温带大陆性季风气候区,春季干燥多风,夏季湿热多雨,秋季天高气爽,冬季寒冷漫长,具有四季分明,雨热同季,干湿适中的气候特征。长春市年平均气温 4.8℃,最高温度 39.5℃,最低温度-39.8℃,日照时间 2688 h。

1.2　土壤样品采集与测定

1.2.1　土壤采集

2014 年 7—8 月,网格法均匀选取长春市 197 个样地,如图 1 所示,分别按照城市森林以及不同林型样地所在的行政区、环路梯度带进行分类[9]。其中按城市森林分类划分样地,道路林 43 个(主要干道、街道绿化带等)、单位附属林 36 个(市内住宅小区、学校绿地等)、景观林 82 个(市区公园等)、农田防护林 36 个(主要为 4 环外);按行政区划分样地,朝阳区 40 个、二道区 34 个、宽城区 30 个、绿园区 39 个、南关区 54 个;按环路梯度带划分样地,1 环 20 个、2 环 41 个、3 环 63 个、4 环 18 个、4 环外 55 个。每个样地重复采集林下绿地 0—20 cm 表土 4 环刀并混合为 1 个样品,共采集 197 个土样带回实验室。待样品自然风干后,粉碎研磨,过 2 mm 和 0.25 mm 土壤筛备用。

1.2.2　土壤指标测定

对 pH、容重、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾等 9 个指标进行测定。土壤容重测定采用环刀法,pH 测定采用 pH 计法,有机质测定采用重铬酸钾外加热法,全氮测定采用半微量凯氏定氮法,全磷测定采用 NaOH 熔融钼锑抗比色法,全钾测定采用 NaOH 熔融原子吸收分光光度计法,碱解氮测定采用 NaOH 碱解扩散法,速效磷测定采用碳酸氢钠浸提钼蓝比色法,速效钾测定采用乙酸铵浸提原子吸收分光光度计法[10]。

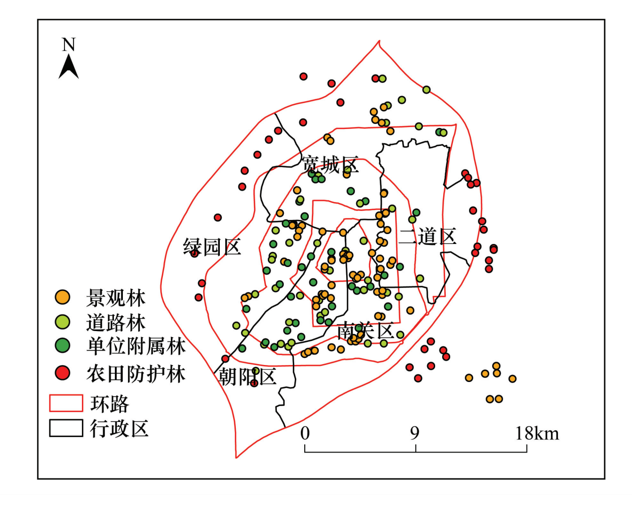


图 1　长春城市森林绿地样点分布图

Fig.1　Distribution map of sampling locations in Changchun city

1.3　土壤质量评价方法

1.3.1　土壤肥力单项指标评价

本文参照表 1 全国第二次土壤普查及有关标准对长春城市森林绿地土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾、pH、容重等指标进行评级,并比较不同林型、行政区、环路差异[4,11-13]。

表 1　土壤养分含量分级标准

Table 1　The classification criterion of soil nutrients

级别 Grades	有机质 SOM/(g/kg)	全氮 TN/(g/kg)	全磷 TP/(g/kg)	全钾 TK/(g/kg)	碱解氮 AN/(mg/kg)	速效磷 AP/(mg/kg)	速效钾 AK/(mg/kg)	备注 Comment
1	>40	>2	>1	>25	>150	>40	>200	很高
2	30—40	1.5—2	0.8—1	20—25	120—150	20—40	150—200	高
3	20—30	1—1.5	0.6—0.8	15—20	90—120	10—20	100—150	中上
4	10—20	0.75—1	0.4—0.6	10—15	60—90	5—10	50—100	中下
5	6—10	0.5—0.75	0.2—0.4	5—10	30—60	3—5	30—50	低
6	<6	<0.5	<0.2	<5	<30	<3	<30	很低

1.3.2　土壤综合肥力评价

采用改进的内梅罗综合指数法对长春城市森林绿地土壤肥力质量进行综合评价[4,11-13]。

ChinaXiv合作期刊

参照第二次土壤普查中的土壤各属性分级标准(表 2)对所选指标参数进行标准化以消除各参数之间的量纲差别,标准化处理的方法如下:

当属性值属于差的一级,即 $c_i \leq x_a$ 时,$F_i = c_i / x_a (F_i \leq 1)$; (1)

当属性值属于中等一级,即 $x_a < c_i \leq x_c$ 时,$F_i = 1 + (c_i - x_a)/(x_c - x_a) (1 < F_i \leq 2)$ (2)

当属性值属于较好一级,即 $x_c < c_i \leq x_p$ 时,$F_i = 2 + (c_i - x_c)/(x_p - x_c) (2 < F_i \leq 3)$ (3)

当属性值属于好一级,即 $c_i > x_p$ 时,$F_i = 3$ (4)

上述各式中,F_i 为属性分系数,c_i 为该属性测定值,x_a,x_c,x_p 为分级指标。

此外,由于土壤容重在 1.14—1.26 g/cm³之间比较有利于幼苗的出土和根系的正常生长,其标准化后的指数数值应该较大,而大于或小于这个范围的土壤容重不利于植被生长,其标准化后的指数数值应该较小,因此,对容重标准化做特殊处理,具体方法如下[13]。

当容重(c_i)≥1.45 时,$F_i = 1.45/c_i (F_i \leq 1)$ (5)

当 1.35 g/cm³≤ $c_i < x_c$ 时,$F_i = 1 + (c_i - 1.45)/(1.35 - 1.4) (1 < F_i \leq 2)$ (6)

当 1.25 g/cm³≤c_i<1.35 g/cm³时,$F_i = 2 + (c_i - 1.35)/(1.35 - 1.45) (2 < F_i \leq 3)$ (7)

当 1.14 g/cm³≤c_i<1.25 g/cm³时,$F_i = 3$ (8)

当 pH≤7 时,适用公式 1—4,当 pH>7 时,适用公式 5—8,标准 pH 值 9、8、7 分别对应容重 1.45、1.35、1.25。

最后采用改进的内梅罗综合指数法对城市森林绿地土壤肥力质量作综合评价。修正的内梅罗计算公式:

$$F = \sqrt{\frac{(\overline{F_i})^2 + (F_{i\min})^2}{2}} \cdot \left(\frac{n-1}{n}\right)$$

式中,F 为土壤综合肥力指数,$\overline{F}_i$ 为各分肥力指数的平均值,$F_{i\min}$ 为各分肥力指数中最小值,n 为参评指标数。

表 2 内梅罗评定方法中土壤各属性分级标准

Table 2 Grading criterion for various soil properties in the Nemorow grading method

土壤属性 Soil properties	内梅罗分级指标 (Classification index of Nemorow)			土壤属性 Soil properties	内梅罗分级指标 (Classification index of Nemorow)		
	x_a	x_c	x_p		x_a	x_c	x_p
有机质 SOM	10	20	30	全氮 TN	0.75	1.5	2
全磷 TP	0.4	0.6	1	全钾 TK	5	20	25
碱解氮 AN	60	120	180	速效磷 AP	5	10	20
速效钾 AK	50	100	200	pH(>7.0)	9	8	7
pH(≤7.0)	4.5	5.5	6.5	容重 Bulk density	1.45	1.35	1.25

1.4 土壤理化性质及综合肥力指数空间分布图示

克里金插值法是空间统计分析方法的重要内容之一,基于这种方法比传统方法更精确、更有效的避免系统误差。本文根据各指标值并结合全国第二次土壤普查标准,应用 ArcGIS 10.2 将样地的土壤理化指标及综合肥力指数进行克里金插值,其中 pH 和容重插值划分好(pH 6.5—7.5,容重 1.2—1.3)、中(pH 7.5—8,容重 1.3—1.4)、差(pH >8,容重>1.4)3 个等级;有机质、碱解氮划分为 4 个等级,分别是中下水平(有机质 14—20 g/kg,碱解氮 70—90 mg/kg)、中上水平(有机质 20—30 g/kg,碱解氮 90—120 mg/kg)、高(有机质 30—40 g/kg,碱解氮 120—150 mg/kg)、很高(有机质>40 g/kg,碱解氮>150 mg/kg);全钾划分 2 个等级,分别是高(50—60 g/kg)和很高(>60 g/kg);全氮划分 3 个等级,分别是中下(0.9—1 g/kg)、中上(1—1.5 g/kg)、高(>1.5 g/kg);全磷划分为 3 个等级,分别是低(0.3—0.4 g/kg)、中下(0.4—0.6 g/kg)、中上(>0.6 g/kg);速效钾划分 3 个等级,分别是较高(150—200 mg/kg)、很高(200—300 mg/kg)、非常高(>300 mg/kg);综合肥力指数

chinaXiv:201703.00055v1

ChinaXiv合作期刊

划分为差(1.4—1.5)、中(1.5—1.8)、较好(>1.8)。从而绘制了长春城市森林土壤理化性质及综合肥力指数空间分布图。

1.5　数据处理

应用 JMP 10.0 对不同林型、行政区、环路间土壤理化指标进行方差分析和多重比较,Excel 2010 分析土壤理化性质的统计学特征并绘制表格。

2　结果与分析

2.1　土壤理化性质数据的统计学特征

长春市森林绿地土壤的 pH 值为 5.43—8.89,平均值为 7.57,变异系数 9.26%。长春土壤容重为 1.11—1.62 g/cm^3,平均值为 1.38 g/cm^3,变异系数 6.99%。土壤有机质 6.58—124.74 g/kg,平均为 34.51 g/kg,变异系数为 50.41%。土壤全氮平均含量为 1.37 g/kg,变化范围 0.35—3.4 g/kg,变异系数 39.03%。全磷平均含量为 0.51 g/kg,变化范围 0.21—1.81 g/kg,变异系数 41.04%。全钾平均含量为 58.7 g/kg,变化范围 29.27—87.32 g/kg,变异系数 16.12%。土壤碱解氮平均含量为 133.04 mg/kg,变化范围 28—402.5 mg/kg,变异系数 39.67%。速效磷平均含量为 38.47 mg/kg,变化范围 2.83—302.65 mg/kg,变异系数 94.71%。速效钾平均含量为 255.85 mg/kg,变化范围 69.99—1055.4 mg/kg,变异系数 55.77%(表 3)。

表 3　长春城市森林绿地土壤各指标描述性统计量

Table 3　Descriptive statistics in various studied parameters of urban soil in urban forests and green spaces of Changchun city

土壤属性 Soil properties	最大值 Maximum	最小值 Minimum	标准差 SD	平均值 Mean	变异系数/% CV
pH	8.89	5.43	0.7	7.57	9.26
容重 Bulk density/ (g/cm^3)	1.62	1.11	0.1	1.38	6.99
有机质 SOM/ (g/kg)	124.74	6.58	17.4	34.51	50.41
全氮 TN/ (g/kg)	3.4	0.35	0.53	1.37	39.03
全磷 TP/ (g/kg)	1.81	0.21	0.21	0.51	41.04
全钾 TK/ (g/kg)	87.32	29.27	9.46	58.7	16.12
碱解氮 AN/ (mg/kg)	402.5	28	52.78	133.04	39.67
速效磷 AP/ (mg/kg)	302.65	2.83	36.43	38.47	94.71
速效钾 AK/ (mg/kg)	1055.4	69.99	142.68	255.85	55.77

2.2　不同林型、不同行政区、不同环路带土壤理化性质

不同林型土壤理化性质比较来看 pH、全氮、全磷、碱解氮达到了显著水平(P<0.05)。pH 表现为道路林>单位附属林>农田防护林>景观林,全氮表现为景观林>农田防护林>单位附属>道路林,全磷表现为景观林>单位附属>道路林>农田防护林,碱解氮表现为农田防护林>景观林>单位附属>道路林。其他指标,包括容重、有机质、速效磷、全钾和速效钾不同林型间差异不显著(P>0.05)(表 4)。

不同行政区土壤理化指标除容重、全钾、速效钾外,差异均达到了显著水平(P<0.05),pH 表现为绿园区、宽城区>二道区>朝阳区>南关区,有机质表现为绿园区>朝阳区>二道区>南关区>宽城区,全氮表现为二道区>南关区>绿园区>朝阳区>宽城区,全磷表现为南关区>绿园区>二道区>宽城区>朝阳区,碱解氮表现为朝阳区>南关区>绿园区>二道区>宽城区,速效磷表现为南关区>绿园区>宽城区>二道区>朝阳区(表 4)。

在城市化梯度上,pH 为 3 环>4 环>2 环>4 环外>1 环,有机质为 1 环>2 环>4 环>3 环>4 环外,全磷为 4 环>1 环>2=3 环>4 环外。不同环路除 pH、有机质、全磷外多表现为差异不显著(P>0.05)(表 4)。

2.3　不同林型、不同行政区、不同环路带综合肥力指数

长春城市森林不同林型土壤综合肥力指数变幅在 1.55—1.65,景观林(1.65)>单位附属林=农田防护林(1.63)>道路林(1.55)(表 5)。

chinaXiv:201703.00055v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201703.00055v1

表 4 不同林型、行政区、环路各土壤指标比较

Table 4 Comparison of soil properties among different forest types, administrative districts and ringroad-related gradients

分类 Classification	变量 Variables	pH	容重 Bulk density/ (g/cm^3)	有机质 SOM/ (g/kg)	全氮 TN/ (g/kg)	全磷 TP/ (g/kg)	全钾 TK/ (g/kg)	碱解氮 AN/ (mg/kg)	速效磷 AP/ (mg/kg)	速效钾 AK/ (mg/kg)
林型	道路林 RF	8.04a	1.39a	36.26a	1.17b	0.50ab	59.78a	107.56b	33.57a	252.01a
Forest types	附属林 AF	7.78ab	1.37a	33.03a	1.39ab	0.52ab	60.10a	132.66ab	32.43a	283.16a
	景观林 LF	7.31c	1.38a	36.99a	1.44a	0.55a	58.43a	137.90a	45.36a	246.15a
	防护林 FF	7.41bc	1.36a	28.28a	1.40ab	0.44b	56.65a	153.38a	34.68a	255.23a
行政区	朝阳	7.41b	1.36a	39.73a	1.40ab	0.44b	57.88a	147.48a	28.31b	228.21a
Districts	二道	7.63ab	1.38a	34.37ab	1.45a	0.51ab	58.74a	123.94ab	36.89ab	271.39a
	宽城	7.94a	1.38a	23.06b	1.05b	0.50ab	56.88a	110.69b	39.96ab	226.90a
	绿园	7.94a	1.35a	39.94a	1.42a	0.56ab	57.64a	127.40ab	40.68ab	299.14a
	南关	7.37b	1.40a	32.78ab	1.43a	0.57a	61.70a	139.27ab	50.06a	271.25a
环路梯度	1 环	7.26b	1.35a	44.87a	1.47a	0.55ab	59.27a	138.56a	53.05a	275.96a
Ring-road-related	2 环	7.51b	1.39a	38.26a	1.41a	0.53ab	58.82a	124.12a	40.95a	259.30a
gradients	3 环	7.88a	1.38a	33.98ab	1.34a	0.53ab	59.94a	123.89a	34.70a	261.46a
	4 环	7.71ab	1.37a	34.75ab	1.38a	0.60a	58.97a	129.26a	49.78a	270.17a
	4 环外	7.33b	1.37a	28.49b	1.32a	0.44b	56.91a	149.72a	31.94a	234.85a

表中 RF 为 Roadside forest 缩写,AF 为 Affiliated forest 缩写,LF 为 landscape forest 缩写,FF 为 Farmland shelterbelt forest 缩写;a,b 不同字母间表示差异显著

表 5 基于土壤肥力指数法的土壤肥力综合评价

Table 5 Comprehensive evaluation of urban soil fertility via soil fertility index method

分类 Classification	变量 Variables	F_i									$\bar{F}_i$	F
		pH	容重 Bulk density	有机质 SOM	全氮 TN	全磷 TP	全钾 TK	碱解氮 AN	速效磷 AP	速效钾 AK		
林型	道路林 RF	1.91	1.67	2.76	1.58	1.48	3	1.77	2.81	2.82	2.2	1.55
Forest types	附属林 AF	2.21	1.78	2.62	1.8	1.54	3	2.01	2.78	2.85	2.29	1.63
	景观林 LF	2.41	1.75	2.59	1.88	1.58	3	2.17	2.7	2.78	2.32	1.65
	防护林 FF	2.49	1.92	2.41	1.91	1.25	3	2.34	2.77	2.78	2.32	1.63
行政区	绿园	2.05	1.99	2.76	1.87	1.68	3	1.95	2.9	2.89	2.34	1.69
Districts	朝阳	2.4	1.89	2.83	1.9	1.27	3	2.28	2.63	2.86	2.34	1.66
	南关	2.5	1.6	2.49	1.84	1.6	3	2.18	2.81	2.83	2.31	1.64
	二道	2.29	1.72	2.65	1.91	1.53	3	1.97	2.85	2.82	2.3	1.61
	宽城	2.04	1.72	2.15	1.42	1.45	3	1.84	2.81	2.69	2.13	1.51
环路梯度	1 环	2.57	1.93	2.81	1.92	1.68	3	2.18	2.92	2.92	2.43	1.78
Ring-road-related	2 环	2.34	1.63	2.74	1.88	1.56	3	1.95	2.77	2.84	2.3	1.59
gradients	3 环	2.1	1.74	2.63	1.75	1.59	3	1.94	2.79	2.86	2.27	1.62
	4 环	2.11	1.8	2.51	1.74	1.54	3	2.1	2.89	2.76	2.27	1.62
	4 环外	2.39	1.83	2.42	1.8	1.23	3	2.32	2.57	2.67	2.25	1.58

不同行政区土壤综合肥力指数为 1.51—1.69,绿园区(1.69)>朝阳区(1.66)>南关区(1.64)>二道区(1.61)>宽城区(1.51)(表 5)。

不同环路带土壤综合肥力指数为 1.58—1.79,1 环(1.78)>3=4 环(1.62)>2 环(1.59)>4 环外(1.58)(表 5)。

2.4 长春城市森林绿地土壤理化性质及综合肥力指数的空间分布

长春城市森林绿地土壤各理化指标及综合肥力指数的空间分布如图 2、图 3 所示,大部分土壤 pH 集中在 7.5—8 之间,6.5—7.5 之间的土壤主要集中在东南角朝阳和南关部分区域,大于 8 的区域主要集中在西南角;

ChinaXiv合作期刊

土壤容重大部分区域为 1.3—1.4 g/cm³,大于 1.4 g/cm³的区域主要为中部及西南部部分区域;有机质东、西大部分区域>30 g/kg,北部和南部区域主要为 20—30 g/kg;全氮除北部宽城区有小部分区域<1 g/kg 外,大部分区域集中在 1—1.5 g/kg;全磷大部分区域为 0.4—0.6 g/kg;全钾大部分区域为 50—60 mg/kg;碱解氮大部分区域集中在 90—150 mg/kg;速效磷除朝阳区有小部分区域小于 20 mg/kg 外,大部分区域为 20—40 及>40 mg/kg;速效钾大部分区域为 200—300 mg/kg。综合肥力指数除北部宽城区小部分区域为 1.4—1.5,朝阳区很小部分区域大于 1.8 外,大部分区域集中在 1.5—1.8。

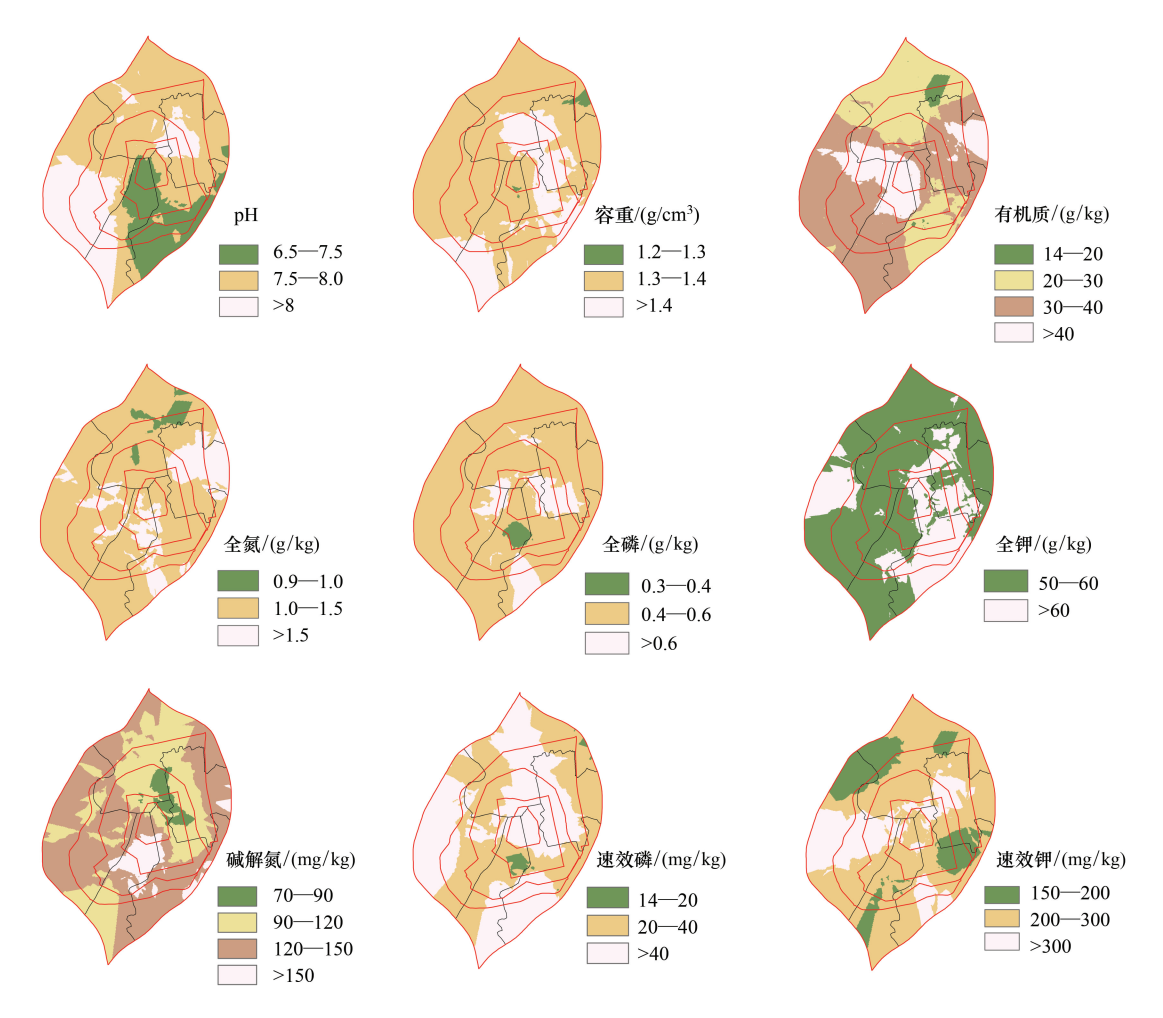


图 2　长春城市森林绿地不同土壤指标空间差异分布图

Fig.2　Spatial distribution map of various soil properties in urban forests and green spaces of Changchun city

其中黑线是行政区划,具体见图 3 标示;红色圈状线为环路。pH 和容重图中,绿色、黄色和白色区域分别表示有利、中等、不利于植物生长。其他土壤指标图中参照表 1 分级标准进行画图,其中全钾图,绿色和白色分别代表高和很高;速效钾绿色表示较高,黄色很高,白色非常高;全磷绿色表示低,黄色中下,白色中上;其他指标绿色表示中下水平,黄色中上水平,褐色较高水平,白色很高水平

3　讨论

3.1　参照全国第二次土壤普查并结合养分空间分布特征评级长春城市森林绿地土壤

土壤有机质是反映土壤肥力的重要指标[14],城市化对土壤有机碳及肥力存在显著影响[15]。长春城市森林土壤有机质平均含量为 34.51 g/kg (表 3),空间上看大部分区域集中在 30—40 g/kg(图 2),达到了第二次土壤普查的 2 级水平,这与王喜宁等研究结果类似[16]。北京大兴区有机质平均含量为 12.76 g/kg[17],沈阳公园绿地有机质含量平均为 23.7 g/kg[18]。与上述城市相比,长春有机质含量更高,一方面这可能与长春市绿化面积大,枯枝落叶能及时归还土壤有关[16],另一方面高密度人口、大量生活垃圾等构成了长春森林土壤的主

chinaXiv:201703.00055v1

ChinaXiv合作期刊

要有机碳源,使得长春市森林土壤有机质含量高[19]。此外,土壤有机质受温度和降水影响大,降水量大、温度低有利于有机质积累,而城市土壤有机质更易积累于表层[20-21]。

全氮、全磷、全钾是指土壤中所含的植物可利用和不可利用的各种形态的氮、磷、钾总量;碱解氮、速效磷、速效钾是土壤中可以被植被直接利用的氮、磷、钾。杨皓等发现喀斯特地区的磷钾含量较低[4];边振兴等研究发现沈阳公园绿地富磷缺钾[18]。我们发现长春市区土壤全磷偏低(均值 0.51 g/kg,表 3),大部分区域集中在 0.4—0.6 g/kg(图 2),为第二次土壤普查的 4 级中下水平;而土壤速效磷含量很高(平均为 38.47 mg/kg,表 3),空间上看大部分区域速效磷都>20 g/kg(图 2),达到了第二次土壤普查的 2 级、高的水平,全磷含量较低而速效磷含量较高,可能是由于土壤 pH 值较高,增加了磷营养元素的有效性,释放较多的磷素形成的[22]。上海等城市全氮含量多为 1—1.5 g/kg,速效钾含量大于 200 mg/kg[23],与本文结果类似。本文研究发现全氮含量和碱解氮平均值分别为 1.37 g/kg 和 133.04 mg/kg(表 3),空间上看大部分区域都达到了第二次土壤普查的 3 级(中上)及以上水平(图 2)。全钾(均值 58.7 g/kg)和速效钾(均值 255.85 mg/kg)含量很高,从空间上看大部分区域都达到了第二次土壤普查的 1 级、很高水平(表 3,图 2),长春土壤钾素含量较高,应该适当控制。

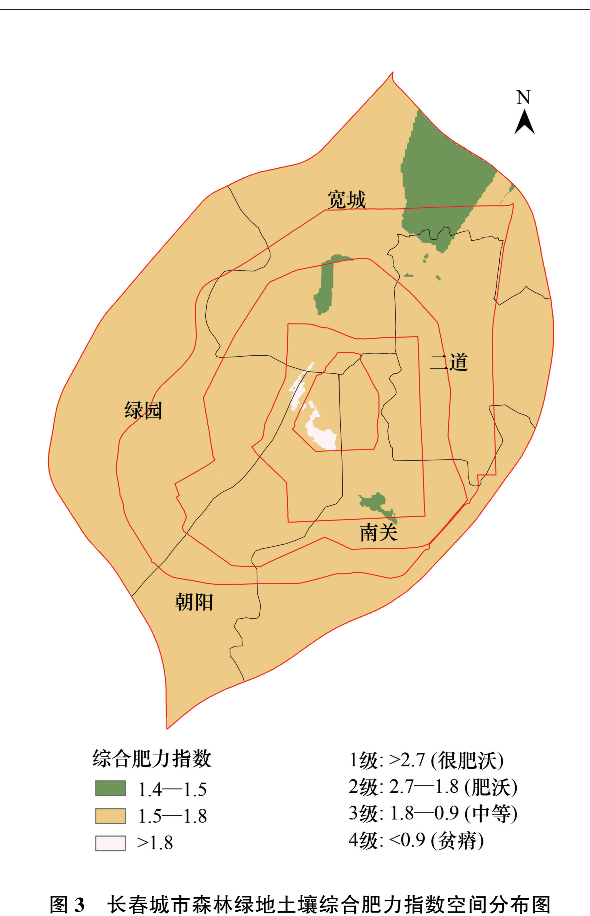


图 3 长春城市森林绿地土壤综合肥力指数空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution of comprehensive fertility index in Changchun city

土壤 pH 是土壤化学性质的综合反映,直接关系到土壤中养分元素的存在形态和植物有效性[23]。一般中性土壤(pH= 6.5—7.5)较易适合植物生长,而 pH 值太高会影响土壤微生物的活动,对养分的释放也有一定的影响[24]。长春市森林土壤的 pH 值平均为 7.57(表 3),空间上看,大部分土壤集中在 7.5—8(图 2),多为碱性土壤[25],这与王喜宁、陈旭彤的研究结果类似[16,26]。这主要是由于城市化进程中,建筑垃圾等人为干扰因素造成的[15,19]。因此在今后管理过程中,应注意改善土壤 pH 值。土壤容重是重要的土壤物理性质指标,它反映了土壤的松紧程度、孔隙状况等,容重越大,越不适合植物生长。适合植物生长的土壤容重范围为 1.14—1.26 g/cm^3,当土壤密度达到 1.4—1.5 g/cm^3 时,植物根系难以进入[13,15,26-27]。长春土壤容重平均为 1.38 g/cm^3(表 3),空间上看大部分区域集中在 1.3—1.4 g/cm^3(图 2),容重值偏高。对南京、徐州、日照等城市研究均表明城市土壤容重过大[12-13,15],这与城市人口密度大,人为干扰踩踏有很大关系。

3.2 林型、行政区域及环路梯度间土壤差异及限制因子

城市中不同森林类型、行政区、环路带往往表现出不同的生态功能及景观特征,对不同林型、行政区、环路带城市绿地土壤养分研究是认识城市内部差异的重要手段,可以更加科学有效地对城市森林绿地进行管理[28-30]。

研究发现不同林型 pH、全氮、全磷及碱解氮差异达到了显著水平,景观林全氮、全磷最高而 pH 值最低(表 4),综合肥力指数也表明景观林最高(表 5)。许多研究结果均表明公园绿地综合肥力比道路绿地高[12-13,23]。景观林主要为市区内公园,在绿化管理上投入更大,由专人负责养护,且公园内绿地多有防护栏,标示牌、监控设备等警示游人保护绿地,所以其肥力指数最高。道路林的土壤养分指标相对较低,综合肥力指

chinaXiv:201703.00055v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201703.00055v1

数最小,主要是疏于管理、人为过度干扰踩踏造成的[31]。不同行政区间除容重、全钾、速效钾外,其他养分指标均达到差异显著水平(表 4)。综合肥力指数来看,西南部的绿园区、朝阳区、南关区要大于东北部的二道和宽城区(表 5)。不同环路带除土壤 pH、有机质、全磷外,其他养分指标多表现为差异不显著(表 4),土壤综合肥力指数及有机质呈现由里向外递减趋势(表 5),这与 Zhang 等研究结果类似[32],说明了城市化并没有使土壤肥力降低,这一方面可能是由于人为活动、汽车尾气排放、生活垃圾污染等造成的,另一方面环路带由里向外面积逐渐扩大,绿化管理难度随之加大,而投入可能没有加大。根据 F 值将土壤肥力分为 4 级,即 1 级 $F>2.7$ 时,土壤肥力为很肥沃;2 级 $F=2.7$—1.8 时,土壤肥力为肥沃;3 级 $F=1.8$—0.9 时,土壤肥力为中等;4 级 $F<0.9$ 时,土壤肥力为贫瘠[11]。从空间上看,大部分区域土壤肥力指数(F)集中在 1.5—1.8(图 3),为肥力 3 级(中等水平)。

修正的内梅罗公式突出了最差因子对土壤肥力的影响,反映了生态学中植物生长最小因子定律[3]。我们可以发现不同林型、行政区、环路的全磷、全氮及容重的 F_i 值均小于其他指标(表 5),这说明全磷、全氮及容重是限制土壤肥力的最主要因子。因此,在城市林分管理上,也要更加注重这些限制因子的管理和提高。

3.3　基于土壤肥力调节的城市森林绿地管理建议

针对上述分析,我们可以采取有针对性的措施改善土壤质量。一方面可采取生物措施改善土壤质量,如枯枝落叶沤肥、种植豆科植物固氮并提高磷的有效性[33],选植 N:P 适中的乡土树种等[34];另一方面应加强人为调控,如疏松土壤,增加护栏避免人为践踏、专人定期养护、避免生活垃圾污染土壤等措施改善土壤 pH 及容重,控制土壤钾素含量,增施氮磷有机肥等调控土壤肥力。

4　结论

长春城市森林绿地土壤养分概况及空间特征显示,除全磷含量较低外,其他养分指标均达到了全国第二次土壤普查的 3 级(中上)及以上水平,pH 和土壤容重偏高。景观林、绿园区、1 环以内的土壤肥力最好,空间上大部分区域肥力综合指数集中在 1.5—1.8,为 3 级(中等)水平,全磷、全氮、容重是其主要限制因子。针对上述分析,应从生物及人为调控两方面着手改善长春城市森林绿地质量。

参考文献(References):

[1] 刘常富, 何兴元, 陈玮, 赵桂玲, 徐文铎. 沈阳城市森林三维绿量测算. 北京林业大学学报, 2006, 28(3): 32-37.

[2] 张甘霖, 赵玉国, 杨金玲, 赵文君, 龚子同. 城市土壤环境问题及其研究进展. 土壤学报, 2007, 44(5): 925-933.

[3] 安康, 谢小平, 张海珍, 周虹. 西湖风景区土壤肥力的空间格局及其影响因子. 生态学杂志, 2015, 34(4): 1091-1096.

[4] 杨皓, 胡继伟, 黄先飞, 范明毅, 李婕羚. 喀斯特地区金刺梨种植基地土壤肥力研究. 水土保持研究, 2015, 22(3): 50-55.

[5] 骆东奇, 白洁, 谢德体. 论土壤肥力评价指标和方法. 土壤与环境, 2002, 11(2): 202-205.

[6] 张庆利, 潘贤章, 王洪杰, 刘付程, 史学正. 中等尺度上土壤肥力质量的空间分布研究及定量评价. 土壤通报, 2003, 34(6): 493-497.

[7] Cheng X F, Shi X Z, Yu D S, Pan X Z, Wang H J, Sun W X. Using GIS spatial distribution to predict soil organic carbon in subtropical China. Pedosphere, 2004, 14(4): 425-431.

[8] 廖桂堂, 李廷轩, 王永东, 张锡洲, 冯娜娜. 基于 GIS 和地统计学的低山茶园土壤肥力质量评价. 生态学报, 2007, 27(5): 1978-1986.

[9] 何兴元, 刘常富, 陈玮, 关正君, 赵桂玲. 城市森林分类探讨. 生态学杂志, 2004, 23(5): 175-178, 185-185.

[10] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000.

[11] 阚文杰, 吴启堂. 一个定量综合评价土壤肥力的方法初探. 土壤通报, 1994, 25(6): 245-247.

[12] 田绪庆, 陈为峰, 申宏伟. 日照市城区绿地土壤肥力质量评价. 水土保持研究, 2015, 22(6): 138-143.

[13] 单奇华, 俞元春, 张建锋, 钱洪涛, 徐永辉. 城市森林土壤肥力质量综合评价. 水土保持通报, 2009, 29(4): 186-190.

[14] 冯万忠, 段文标, 许皞. 不同土地利用方式对城市土壤理化性质及其肥力的影响——以保定市为例. 河北农业大学学报, 2008, 31(2): 61-64.

[15] 司志国, 彭志宏, 俞元春, 唐虹, 俞小鹏, 白玉杰, 关庆伟. 徐州城市绿地土壤肥力质量评价. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2013, 37(3): 60-64.

[16] 王喜宁, 武春阳, 孙亚楠, 杨阳, 侯勇. 长春市城市土壤特性研究. 内蒙古农业科技, 2011, (3): 35-37.

ChinaXiv合作期刊

[17] 崔潇潇, 高原, 吕贻忠. 北京市大兴区土壤肥力的空间变异. 农业工程学报, 2010, 26(9): 327-333.

[18] 边振兴, 王秋兵. 沈阳市公园绿地土壤养分特征的研究. 土壤通报, 2003, 34(4): 284-290.

[19] 陈雪, 郎春燕. 成都市城市绿地土壤理化性质研究. 广东微量元素科学, 2011, 18(6): 52-57.

[20] 李立平, 邢维芹, 刘顺, 盛焕焕, 职雪琳, 袁超. 郑州市城市土壤理化性质. 城市环境与城市生态, 2010, 23(2): 18-22.

[21] Pouyat R V, Yesilonis I D, Nowak D J. Carbon storage by urban soils in the United States. Journal of Environmental Quality, 2006, 35(4): 1566-1575.

[22] 郑宝仁, 卢宝伟. 哈尔滨城市园林树木绿地土壤肥力质量调查. 黑龙江科技信息, 2010, (2): 131-131, 36-36.

[23] 郝瑞军. 上海城市绿地土壤肥力特征分析与评价. 上海农业学报, 2014, 30(1): 79-84.

[24] 管东生, 何坤志, 陈玉娟. 广州城市绿地土壤特征及其对树木生长的影响. 环境科学研究, 1998, 11(4): 51-54.

[25] 范海荣, 常连生, 王洪海, 李晓, 张立娟. 城市草坪土壤肥力综合评价. 草业科学, 2010, 27(10): 17-22.

[26] 陈旭彤. 杭州城市绿地土壤肥力质量评价. 贵州农业科学, 2012, 40(11): 148-150.

[27] Reisinger T W, Simmons G L, Pope P E. The impact of timber harvesting on soil properties and seedling growth in the south. Southern Journal of Applied Forestry, 1988, 12(1): 58-67.

[28] 李卫国, 赵彦伟, 盛连喜. 长春市生态功能区划及其调控对策研究. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(1): 160-165.

[29] 申庆喜, 李诚固, 周国磊, 马佐澎. 2002-2012 年长春市城市功能空间耦合研究. 地理研究, 2015, 34(10): 1897-1910.

[30] 李俊祥, 王玉洁, 沈晓虹, 宋永昌. 上海市城乡梯度景观格局分析. 生态学报, 2004, 24(9): 1973-1980.

[31] Jim C Y. Urban soil characteristics and limitations for landscape planting in Hong Kong. Landscape and Urban Planning, 1998, 40(4): 235-249.

[32] Zhang D, Zheng H F, Ren Z B, Zhai C, Shen G Q, Mao Z X, Wang P J, He X Y. Effects of forest type and urbanization on carbon storage of urban forests in Changchun, Northeast China. Chinese Geographical Science, 2015, 25(2): 147-158.

[33] 刘建中, 李振声, 李继云. 利用植物自身潜力提高土壤中磷的生物有效性. 生态农业研究, 1994, 2(1): 16-23.

[34] Han W X, Fang J Y, Guo D L, Zhang Y. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China. New Phytologist, 2005, 168(2): 377-385.

chinaXiv:201703.00055v1